

Полученные результаты с учетом погрешности измерения $Ka_{стр}$ и K_z можно принять удовлетворительными.

Таким образом, предложенная методика количественной оценки качества геометрического положения проволок в конструкции позволяет использовать ее как незаменимый инструмент при разработке конструкций металлокорда, а также объективной оценке в лабораторных условиях качества свитой конструкции при отработке технологических параметров свивки.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 14311–85 «Металлокорд для шин». Технические условия.
2. ТУ РБ 04778771.004–001 «Металлокорд для шин» / РУП «БМЗ». – Жлобин, 2001.
3. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973. – 521 с.

УДК 621.74.669.14

А. Г. СЛУЦКИЙ, канд. техн. наук, В. А. ШЕЙНЕРТ (БНТУ),
А. А. ФОКИН (РУП «БМЗ»)

ВНЕПЕЧНАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ КОМПЛЕКСНЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ

Одним из способов внепечной обработки жидкой стали является модифицирование – процесс направленного изменения структуры литого сплава под воздействием малых количеств (~ до 0,1 %) специально вводимых добавок. Вопросам теории модифицированной стали посвящены многие работы [1–4].

Широкое распространение в практике сталеплавильного производства нашли такие поверхностно-активные элементы, как бор, магний, кальций, барий, иттрий, церий. Как правило, их вводят в жидкий расплав в виде ферросплавов и лигатур. Модифицированный эффект обеспечивается за счет адсорбции их на поверхности растущих кристаллов, что приводит к замедлению их роста и увеличению количества центров кристаллизации. К таким модификаторам предъявляются следующие требования:

- неограниченная растворимость в расплавах железа;
- малая растворимость в твердой фазе;
- высокая вязкостная активность;
- способность образовывать тугоплавкие соединения с элементами и примесями, входящими в состав стали, и повышать поверхностную энергию жидкой фазы.

Введение в жидкую сталь поверхностно-активных элементов позволяет одновременно с измельчением микроструктуры воздействовать на природу оксидов, сульфидов, нитридов и других более сложных соединений, входящих в состав неметаллических включений. В углеродистых и легированных литых сталях изменение состава, формы, размеров, количества и распределения неметаллических включений приводит к повышению пластичности, ударной вязкости и ряда других свойств отливок. При этом наилучшие результаты по благоприятному изменению структуры достигаются при сочетании всех видов модифицирования за счет одновременного измельчения зерна, уменьшения ветвей, самих дендритов и фазовых составляющих, модифицирования неметаллических включений [1].

Модификаторы вводят в расплав стали перед ее выпуском из плавильного агрегата, во время выпуска под струю металла или в ковш при заливке стали в форму.

Ввиду того, что модификаторы обладают высоким свойством к кислороду, их целесообразно вводить в хорошо раскисленную сталь. Часто процессы раскисления и модифицирования совмещают. Согласно расчетным данным, приведенным в работе [3], наиболее эффективными модификаторами для стали являются магний, кальций и церий.

В практике сталеплавильного производства наиболее распространенными материалами для модифицирования являются силико-кальций, лигатура ФС30РЗМ30, ферросилиций с магнием, бариум. Однако многие модификаторы имеют ряд существенных недостатков. Так, лигатура ФС30РЗМ30 перед ее использованием подвергается операции дробления и просеивания, что неизбежно приводит к образованию значительного количества (до 30 %) пылевидной фракции. Все это в целом существенно снижает эффективность применения таких модификаторов. Применительно к стальному литью в БНТУ разработаны составы комплексных модификаторов на основе алюминия и содержащего дополнительно магний, кальций,

РЗМ, а также технология их получения. Схема экспериментальной установки по гранулированию комплексного модификатора представлена на рис. 1.

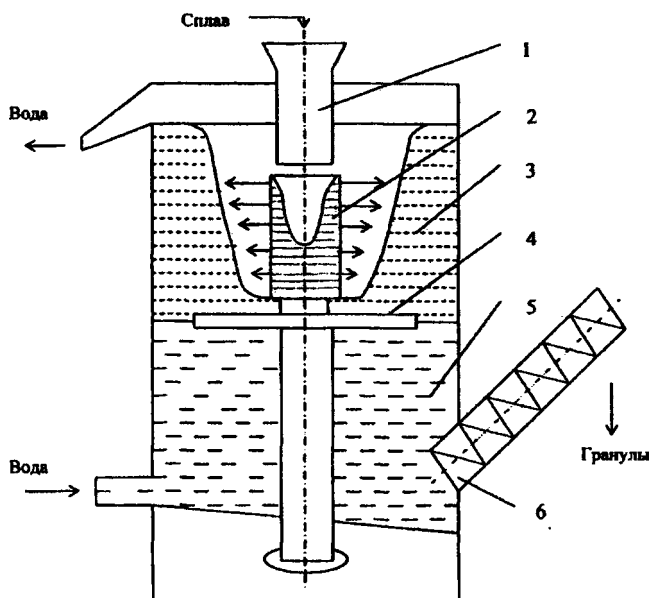


Рис. 1. Схема установки для получения комплексного модификатора: 1 – присмная воронка; 2 – перфорированный стакан; 3 – водяная воронка; 4 – активатор; 5 – транспортер гранул; 6 – корпус

В его состав входят следующие основные узлы: лоток для подачи жидкого модификатора 1; стакан-гранулятор 2; бак 3; диск разгона воды 4; механизм выгрузки готовых гранул 5. Установка работает следующим образом. В бак подается вода, и при заполнении до уровня диска включается его вращение вместе со стаканом-гранулятором. За счет вращения диска производится разгон воды с последующим ее подъемом вдоль стенки бака до сливного лотка. После этого из плавильной печи в ковш выпускают порцию жидкого модификатора и через приемный лоток тонкой струей выливают

во вращающийся стакан-регулятор, имеющий большое количество отверстий диаметром 3–5 мм. За счет вращения стакана происходит эффективное дробление модификатора с последующим быстрым охлаждением вращающейся массой воды. Извлечение готовых гранул осуществляется шнековым питателем. В дальнейшем полученный модификатор подвергается сушке при температуре 130–150 °С.

По данной технологии были изготовлены три опытные партии гранулированного модификатора. Химический состав приведен в табл. 1. Из таблицы видно, что полученные модификаторы отличаются по содержанию в нем РЗМ, кальция и магния. Исследования, проведенные методом ситового анализа, показали, что основная доля гранул приходится на фракции 2–4 мм (рис. 2). Технология обеспечивает практически безотходное производство, что выгодно отличает ее от классической схемы: разлива в изложницы с последующим дроблением, при котором значительная часть материала идет в отходы.

Таблица 1. Химический состав комплексных модификаторов

Наименование модификатора	Содержание элементов					
	Si	Fe	Mg	РЗМ	Ca	Al
Состав 1 (РЗМ)	15,7	9,5	–	9	–	Остальное
Состав 2 (Ca)	19,3	3,2	–	–	12	Остальное
Состав 3 (Mg)	17	8,7	1,8	–	–	Остальное

На рис. 3 представлены фотографии гранулированного модификатора и дробленой лигатуры ФС30РЗМ3О.

Эффективность комплексного модификатора исследовали при выплавке стали 40Л. Различные по величине добавки модификаторов вводились под струю жидкой стали в разливочный ковш. Контролировались следующие параметры: химический состав модифицированной стали и механические свойства, включая ударную вязкость, предел текучести, относительное удлинение.

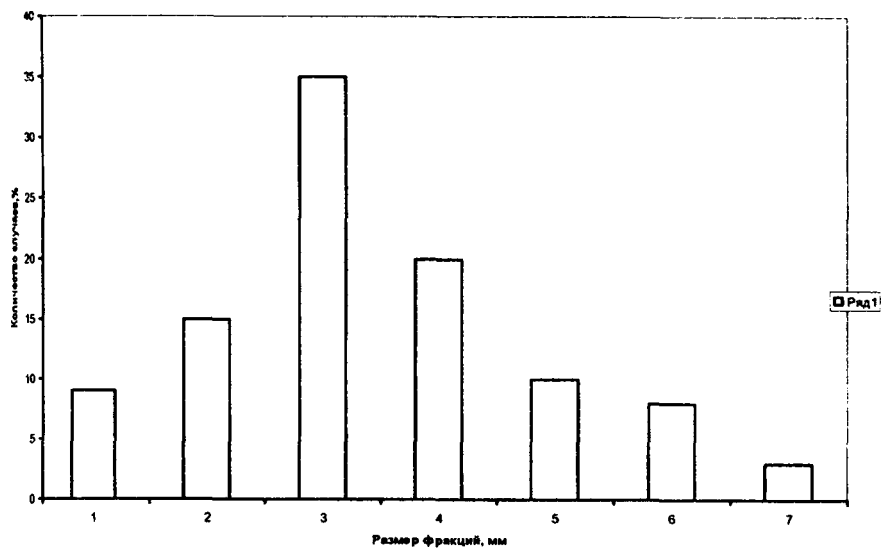


Рис. 2. Фракционный состав комплексного модификатора

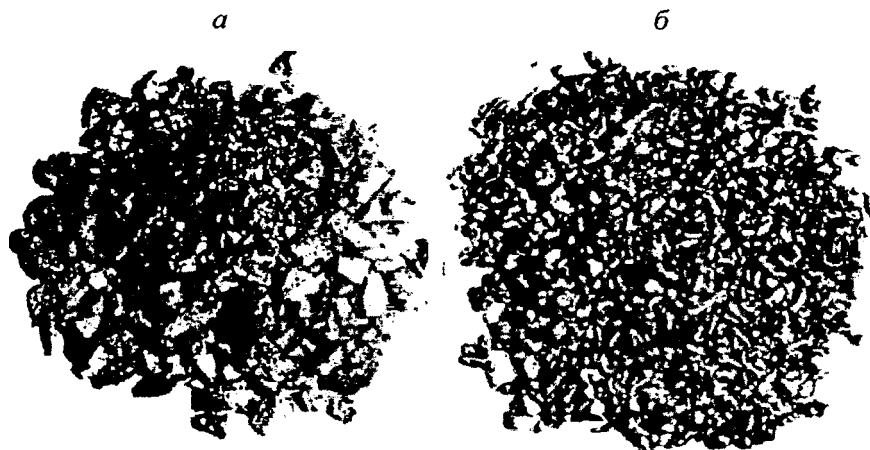


Рис. 3. Внешний вид дробленой лигатуры ФСЗОРЗМЗО (а) и гранулированного модификатора (б)

Из представленной на рис. 4 зависимости видно, что лучшим модифицирующим эффектом, повышающим ударную вязкость стали, обладает модификатор с РЗМ. Это обусловлено, по-видимому, тем, что РЗМ в составе модификатора обеспечивает исключение возможности образования сульфида марганца в виде плен. Сульфиды церия формируются в компактной форме, что способствует повышению ударной вязкости.

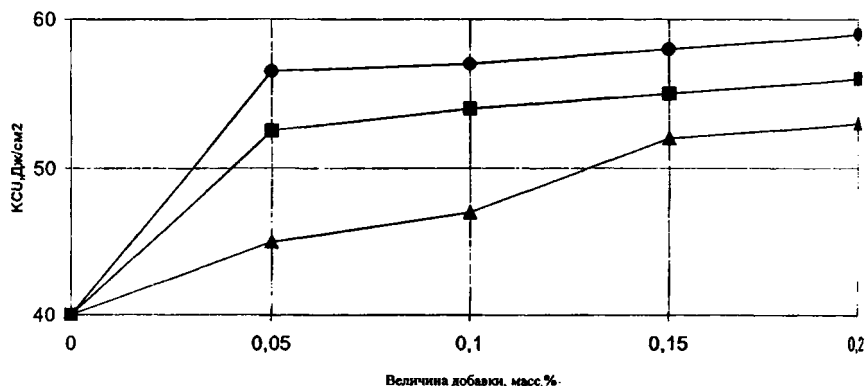


Рис. 4. Влияние величины добавки комплексного модификатора на ударную вязкость стали 40Л: ● — модификатор с РЗМ; ■ — модификатор с Са; ▲ — модификатор с Mg

На рис. 5, 6 показано влияние величины добавок комплексного модификатора на предел текучести и относительное удлинение стали 40Л.

Анализируя данные результаты, нельзя не отметить высокую эффективность модификатора РЗМ. Это, вероятно, объясняется тем, что РЗМ в составе модификатора блокирует образование пленовидных сульфидов марганца, которые в свою очередь существенно снижают механические свойства стали. Следует отметить, что при дальнейшем повышении количества модификатора с РЗМ наблюдается эффект перемодифицирования, что приводит к снижению механических свойств стали.

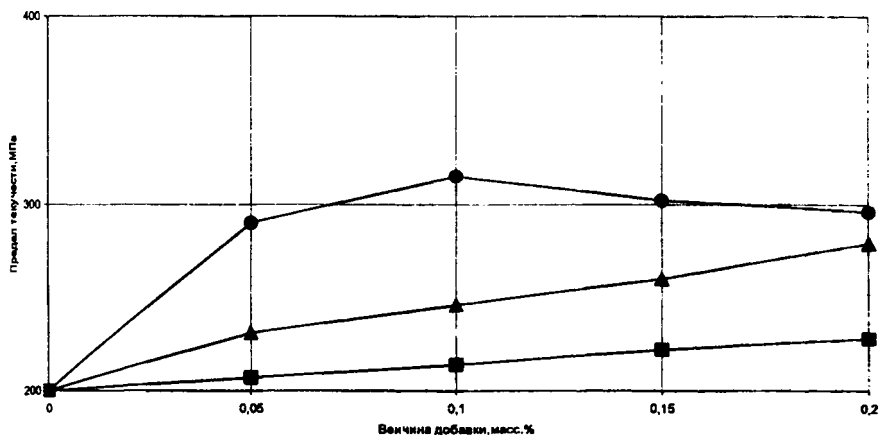


Рис. 5. Влияние величины добавки комплексного модификатора на предел текучести стали 40Л: ● – модификатор с РЗМ; ▲ – модификатор с Mg; ■ – модификатор с Са

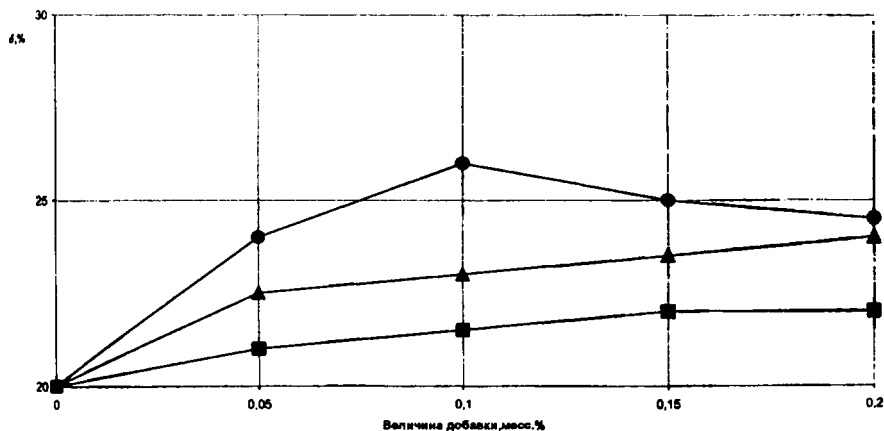


Рис. 6. Влияние величины добавки комплексного модификатора на относительное удлинение стали 40Л: ● – модификатор с РЗМ; ▲ – модификатор с Mg; ■ – модификатор с Са

Таким образом, анализируя всю картину действия исследованных модификаторов, нельзя не отметить высокую эффективность влияния РЗМ на процесс зародышеобразования стали. Несмотря на дороговизну РЗМ, его использование очень выгодно, так как модифицирующее воздействие малых добавок РЗМ на морфологию неметаллических включений является процессом, легко реализуемым уже при минимальных содержаниях вводимых добавок. Кроме того, легкоплавкая основа комплексного модификатора на основе алюминия способствует его быстрому усвоению в процессе обработки жидкой стали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольштейн, Я. Е. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали / Я. Е. Гольштейн, В. Г. Мизин. – М.: Металлургия, 1986. – 272 с.
2. Гуляев, А. П. Чистая сталь / А. П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1975 – 184 с.
3. Лепинских, Б. М. Физико-химические закономерности и модифицирование железоуглеродистых расплавов / Б. М. Лепинских, И. И. Телицин. – М.: Наука, 1986. – 95 с.
4. Производство стальных отливок: учебник для вузов / Л. Я. Козлов [и др.]. – М.: МИСИС, 2003. – 352 с.

УДК 621.745.669.13

А. Г. СЛУЦКИЙ, канд. техн. наук, В. Н. ЯГЛОВ, д-р хим. наук,
В. А. СМЕТКИН, канд. пед. наук, С. В. ГРИГОРЬЕВ (БНТУ)

УТИЛИЗАЦИЯ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ ШЛАКОВ

Применение вторичного сырья при производстве медных сплавов является существенным резервом снижения себестоимости готовой продукции. Образующийся при выплавке различных марок бронзы шлак представляет собой конгломерат, содержащий металлические корольки и неметаллическую составляющую. Имеющиеся способы утилизации таких шлаков обладают рядом недостатков и, прежде всего, высокой энергоемкостью технологии [1].

В лабораторных условиях проведены эксперименты по механической обработке медьсодержащих шлаков на измельчительном